

И.И.ОБОД, канд. техн. наук,
В.П.ПОЛЮГА, ЮжгипроНИИавианпром (г. Харьков)

ОПТИМИЗАЦИЯ ОБНАРУЖЕНИЯ СИГНАЛОВ В РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ БЛИЖНЕЙ НАВИГАЦИИ

Розглянута задача оптимального виявлення сигналів запиту та відповіді дальності радіотехнічних систем близької навігації.

The problem of optimal detection of the range interrogating and answering signals of radiotechnic systems of short-range navigation is considered

Радиотехнические системы ближней навигации (РСБН) [1], основу которых составляет сеть независимых наземных радиомаяков (РМ), по которым определяются навигационные параметры, находят широкое применение в системах управления воздушного движения (УВД) гражданского и военного применения. Как показано в [2], помехоустойчивость канала дальности РСБН крайне низка при действии преднамеренных коррелированных (имитирующих) помех. Это обусловлено принципом построения канала дальности и принципом обслуживания сигналов запроса дальности. Действительно [2], канал дальности современных систем ближней навигации построен по принципу открытой системы массового обслуживания с отказами. По принципу обслуживания сигналов запроса дальности РСБН можно отнести к системам обслуживающим заявку. При таком способе построения канала дальности РСБН воздействие имитирующих помех на радиомаяк приводит к парализации последнего, что затрудняет выделение сигналов запроса и ответа дальности. Это существенным образом сказывается на помехоустойчивости канала дальности РСБН. Именно принцип построения канала дальности РСБН предопределил невозможность отнесения РСБН к помехоустойчивым радиотехническим системам.

Обнаружение сигналов дальности в РСБН осуществляется как на радиомаяке, так и на запросчике. В связи с этим представляет интерес рассмотрение вопросов оптимизации обнаружения сигналов запроса и ответа дальности в цепи запросчик-ответчик РСБН.

Статистическая трактовка процесса обнаружения запросных и ответных сигналов в канале дальности РСБН может быть представлена в виде, приведенном на рис.1. Точки x , p , y и $г$ на данной схеме принадлежат пространствам параметров сигнала S , помех Π , наблюдений N и решений P , соответственно. Индексы 1 и 2 обозначают принадлежность к каналам запроса дальности и ответа дальности. Преобразователь радиомаяка (Π) осуществляет

однозначное преобразование всех точек пространства решений в пространство параметров сигнала, передаваемого запросчику дальности.

Будем рассматривать задачу обнаружения сигнала в дальномерном канале системы ближней навигации как проверку двух гипотез и попытаемся найти оптимальные правила принятия решений на ответчике и запросчике.

Пусть пространство C_1 включает в себя только две точки x_{10} и x_{11} , ко-

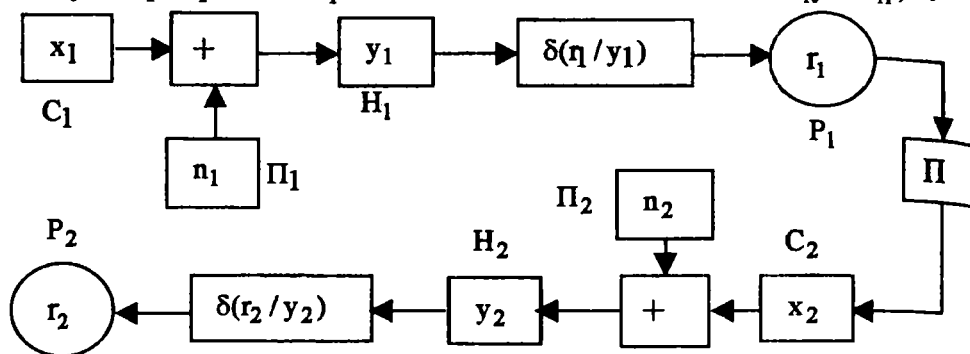


Рис.1

торые соответствуют отсутствию запросного сигнала дальности и приему запросного сигнала дальности с амплитудой, равной пороговому значению обнаружения. Соответственно остальные пространства также содержат по две точки, которые будем обозначать теми же индексами. Цены принятых каналом дальности системы ближней навигации в рассматриваемом случае можно описать матрицей стоимостей

$$C = \begin{vmatrix} C(r_{20}, x_{10}) & C(r_{20}, x_{11}) \\ C(r_{11}, x_{10}) & C(r_{11}, x_{11}) \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} C_{1-\alpha} & C_{\beta} \\ C_{\alpha} & C_{1-\beta} \end{vmatrix}.$$

Общее выражение среднего риска для рассматриваемой ситуации [3] можно записать

$$R = \sum_{\substack{C_1, H_1, P_1, \\ H_2, P_2}} P(x_1) P(y_1 | x_1) \delta(r_1 | y_1) P(y_2 | x_2) \delta(r_2 | y_2) C(r_2; x_1), \quad (1)$$

где $P(x_1)$ - априорное распределение вероятностей значения параметра x_1 ; $P(y_1 | x_1)$ и $P(y_2 | x_2)$ - условные функции правдоподобия (ФП) для реализаций, принятых радиомаяком и запросчиком дальности соответственно; $\delta(r_1 | y_1)$ и $\delta(r_2 | y_2)$ - правила решений, описывающие алгоритм работы радиомаяка и запросчика дальности.

Предположим, что преобразователь решений радиомаяка в ответный сигнал дальности идеальный. В этом случае можно записать

$$P(y_2 | x_2) = P(y_2 | r_1).$$

Таким образом, оптимальное правило принятия решения в радиомаяке можно найти путем минимизации выражения (1) как функционала от $\delta(r_1 | y_1)$.

Учитывая, что условная функция распределения вероятностей принятых запросчиком дальности решений, характеризующая качество работы решающего устройства запросчика дальности РСБН, равна

$$P(r_2 | x_2) = P(r_2 | r_1) = \sum_{R_2} \delta(r_2 | y_2) P(y_2 | r_1) = \sum_{R_2} \delta(r_2 | y_2) P(y_2 | x_2)$$

и что $\delta(r_{11} | y_1) + \delta(r_{10} | y_1) = 1$, выражение (1) можно записать в следующем виде

$$R = \sum_{H_1} \delta(r_{11} | y_1) \{R1 - R2\} + \sum_{C_1} P(x_1) \sum_{R_2} P(r_2 | r_{10}) C(r_2; x_1), \quad (2)$$

где

$$R1 = \sum_{C_1} P(y_1 | x_1) \sum_{R_1} P(r_2 | r_{11}) C(r_2; x_1), \quad R2 = \sum_{C_1} P(y_1 | x_1) P(x_1) \sum_{R_2} P(r_2 | r_{10}) C(r_2; x_1).$$

Как следует из (2), оптимальное правило, минимизирующее средний риск $\delta(r_{11} | y_1) = 1$ при условии, если

$$\begin{aligned} & \sum_{C_1} P(y_1 | x_1) P(x_1) \sum_{R_2} P(r_2 | r_{11}) C(r_2; x_1) \\ & \leq \sum_{C_1} P(y_1 | x_1) P(x_1) \sum_{R_2} P(r_2 | r_{10}) C(r_2; x_1) \end{aligned} \quad (3)$$

Используя очевидное равенство $P(r_{21} | r_1) + P(r_{20} | r_1) = 1$, можно упростить выражение (3). После преобразований окончательно получаем

$$\frac{P(y_1 | x_{11}) P(x_{11})}{P(y_1 | x_{10}) P(x_{10})} \geq \frac{C_{\alpha} - C_{1-\alpha}}{C_{\beta} - C_{1-\beta}}.$$

Таким образом, оптимальный обнаружитель радиомаяка РСБН в байесовом смысле должен сравнивать с порогом обобщенное отношение правдоподобия. Величина порога не зависит от алгоритма и качества работы запросчика дальности и полностью определяется заданными для системы в целом стоимостями решений.

Для определения байесова правила решений на запросчике дальности введем модифицированную ФП для двухзвенной системы [4]:

$$P(y_2 | x_1) = \sum_{R_1} P(y_2 | r_1) P(r_1 | x_1) + \sum_{H_1} \sum_{R_1} P(y_2 | r_1) \delta(r_1 | y_1) P(y_1 | x_1). \quad (4)$$

С использованием этого выражение (1) приводится к известному виду для однозвенной системы [4]:

$$R = \sum_{C_1} \sum_{H_1} \sum_{R_2} P(x_1) P(y_2 | x_1) \delta(r_2 | y_2) C(r_2; x_1). \quad (5)$$

Согласно [4], правило решений, минимизирующее средний риск (5), можно сформулировать как: $\delta(r_{21} / y_2) = 1$ в том случае, если

$$\frac{P(y_2 | x_{11})P(x_{11})}{P(y_2 | x_{10})P(x_{10})} \geq \frac{C_\alpha - C_{1-\alpha}}{C_\beta - C_{1-\beta}}. \quad (6)$$

Для показа алгоритма работы запросчика дальности, представим модифицированное отношение правдоподобия (ОП) в виде

$$\Lambda = \frac{P(x_{11}) \sum_{\pi} P(y_2 | r_1) P(r_1 | x_{11})}{P(x_{10}) \sum_{\pi} P(y_2 | r_1) P(r_1 | x_{10})} = \frac{P(x_{11}) [P(y_2 | x_{20})(1 - P_o) + P(y_2 | x_{21})P_o]}{P(x_{10}) [P(y_2 | x_{20})(1 - F_o) + P(y_2 | x_{21})F_o]}, \quad (7)$$

где $P_o = P(r_{11} | x_{11})$ - вероятность излучения радиомаяком сигнала при наличии запросного сигнала дальности, т.е. коэффициент готовности радиомаяка [2], $F_o = P(r_{11} | x_{10})$ - та же вероятность при отсутствии запросного сигнала дальности.

Таким образом, оптимальный обнаружитель сигналов запросчика дальности в байесовом смысле должен для каждой принятой реализации формировать статистику (7), учитывающую качество работы радиомаяка, и сравнивать ее с порогом, величина которого полностью определяется заданными ценами решений.

Следовательно, необходимость учета на запросчике дальности качества работы радиомаяка, а в радиомаяке – функции цен для канала дальности системы ближней навигации в целом, является специфической особенностью, оптимальный по байесову критерию канала дальности системы ближней навигации.

Приведенное исследование показало, что повышение помехоустойчивости канала дальности РСБН можно достичь путем повышения коэффициента готовности радиомаяка. Существенного повышения коэффициента готовности радиомаяка можно достичь за счет изменения принципа построения и принципа обслуживания заявок в канале дальности РСБН [5].

Список литературы: 1. Давыдов П.С., Жаворонков В.П., Кашеев Г.В. Радиолокационные системы летательных аппаратов. М., Транспорт, 1977. 345 с. 2. Винник А.Т., Обод И.И., Полога В.П. Оценка помехоустойчивости дальномерного канала систем ближней навигации // Технологические системы. 2001. № 2. С. 80-82. 3. Миддлтон Д. Введение в статистическую теорию связи. М., «Сов. Радио», 1962. 467 с. 4. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. М.: Сов. радио, 1966. - 456 с. 5. Силич В.П., Полога В.П., Обод И.И. Методы повышения помехоустойчивости радиотехнических систем ближней навигации. // Технологические системы. - 2002, № 1. С.53-57.

Поступила в редколлегию 08.04.03